

蒙大拿斯蒂尔沃特杂岩体中铂、钯和铑的垂直和水平变化

斯蒂尔沃特杂岩体位于蒙大拿贝尔图思山北缘,可划分为几个重要的层状带。图1表示杂岩体的位置、各个区和带的命名。底部带产于变质岩和橄榄岩段之间,由于很薄同时呈不规则分布,在图1中没有从超镁铁质带中划分出来。橄榄岩段的铬铁岩层向上依次从A标到K。

铂、钯和铑含量及比值的变化范围

岩石标本中铂的含量从 <10 到 8000ppb ($1\text{ppb} = 10^{-9}$ 克或 $\cong 3 \times 10^{-5}$ 盎司/吨),钯 <4 至 11000ppb ;铑 <5 至 17000ppb 。表1列出斯蒂尔沃特杂岩体中主带和 各 分 带 Pt、Pd和Rh的算术平均值和Pt+Pd+Rh和量的变化。表中数据说明橄榄岩体内铬铁

岩的Pt、Pd和Rh含量比杂岩体中其它岩石要高。

大概因为数据不足,还没有掌握古铜辉岩段和杂岩体的底部带、夹层带和上部带中Pt、Pd和Rh比值或数量,或它们在地质和地理分布上的系统变化。由于Pt、Pd和Rh的重要经济价值,详细地研究了铬铁岩中三个铂族金属含量和分布的变化。

铬铁岩带中铂族金属比值的变化

单样分析和从分析计算的比值(图2),表明铬铁矿带不能由单组的Pt、Pd和Rh值来表示,因为沿着出露铬铁岩带的走向长度其含量和比值均变化很大。但是一般说来,在下部两个铬铁岩带(A和B)中特别

蒙大拿斯蒂尔沃特杂岩体各带、段和各岩石类型的Pt、Pd和Rh算术平均值
(以十亿分之几表示)

表1

带或岩石类型	标本数	算术平均值			Pt+Pd+Rh	$\Sigma(\text{Pt}+\text{Pd}+\text{Rh})$ 的变化范围
		Pt	Pd	Rh	平均值之和	
底部带	25	9.4	22.9	4.8	37.1	12-118
超镁铁质带	90	274.5	570.3	89.4	934.2	4-20700
橄榄岩段	84	292.6	610.2	94.7	997.5	4-20700
铬铁岩A带	21	988.9	2290.2	245.9	3525	227-20700
" B	7	136.9	68.3	90.9	296.1	124-890
" C	1	45	36	42	123	...
" E	1	10	5	11	26	...
" G	10	62.9	60.5	51.3	174.7	61-738
" H	6	102.7	37.6	64.9	205.2	76-538
" I	2	31	24	30.5	85.5	41-130
" J	2	171	149	101.5	421.5	63-790
" K	3	86.7	29	75.7	191.4	51-291
其它堆积岩	27	26.4	49.2	18.9	94.5	4-328
古铜辉岩段	6	21.2	12	14.2	47.4	30-63
夹层和上部带	27	10.7	4.9	4.8	20.4	19-39

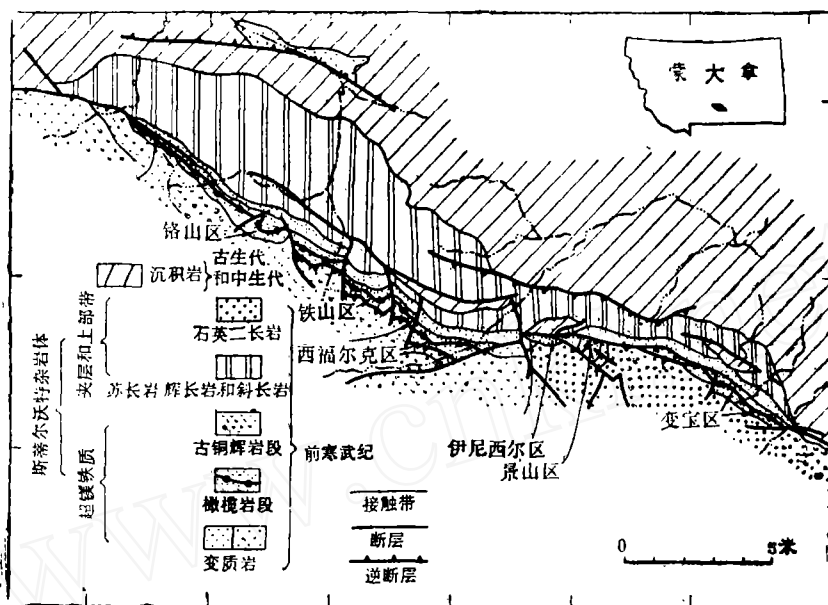


图1 斯蒂尔沃特杂岩体的普通地质图。橄榄岩段中带点的线代表铬铁岩G带

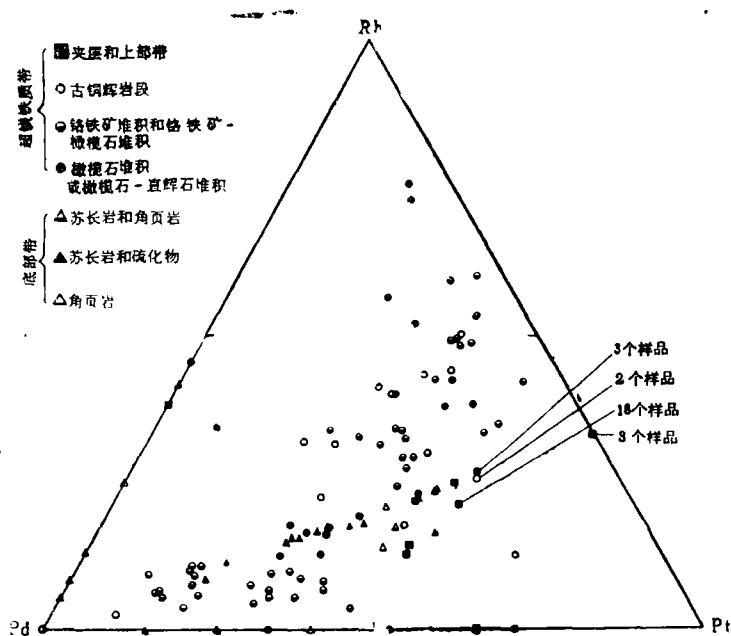


图2 画在三角图上的斯蒂尔沃特杂岩体中每个样品Pt、Pd和Rb含量。用各种符号表示岩石类型和岩带

是自青鸟峯至月牙河区见到的Pt+Pd+Rh含量最大。杂岩体的中部和下部铬铁岩带地层中Pt/Pt+Pd+Rh比值最大,而Pd/Pt+Pd+Rh比值则在杂岩体的两端最大。Rh/Pt+Pd+Rh比值从地层向上到G铬铁岩带趋向于增大,然后向K铬铁岩带则趋向于减小。

横向变化:虽然数据不足,仍指示出单个铬铁岩带的相当短距离内铂族金属的含量和比值可以有很大的变化。豪兰在西福尔克区以1英寸代表100英尺填图得出的A铬铁岩带是分开的两个部分,一个下带和一个上带。在1300英尺走向长度上,以200至600英尺的间距在两带上都采了样。Pt+Pd+Rh之和在下部A铬铁岩带从西向东增大,但只变化4%,但是Pt/Pt+Pd+Rh×100比值变化不规则,范围介于14.6和43.9之间,而Rh/Pt+Pd+Rh×100比值则在51.8和79.2之间变化。另一方面,上部A铬铁岩带Pt+Pd+Rh从西向东增加约95%,Pt/Pt+Pd+Rh×100比值变化范围为17.1至24.3。

这种横向变化大的概念也适用于整个杂岩体。表2对不同地理位置上测定Pt、Pd和Rh分析平均值和标准偏差作了对比。所有铬铁岩的分析值对每个地区平均,表示一

各地区铬铁岩带Pt、Pd和Rh的平均值和标准偏差
(对每个带采用平均值) 表2

地 区	平均值(ppb)			标准偏差 (ppb)		
	Pt	Pd	Rh	Pt	Pd	Rh
变 宝	89.9	81.8	52.1	104.3	89.1	56.4
尼耶利普	65.8	45.2	53.3	35.4	29.1	23.1
景 山	84.4	288.4	52.9	93.7	521	29.7
伊尼西尔	116.5	24	128	23.5	1	42
青鸟峰	只有一个数值					
西福尔克	497.1	1050.3	138.5	672	1577.2	146.1
月牙河	359.5	820	97	280.5	680	73
铁 山	74.2	103.8	63.4	35.1	90.3	38.6
铬 山	只有一个数值					
吉 希	187.5	189.5	149	22.5	74.5	111

地区到另一地区的横向变化。

垂直变化:为了详细地查明垂直变化,在两个铬铁岩带—西福尔克区的上部A带和景山区G带通过分成几段的探槽作刻槽取样。

表3数据表示铂族金属富集在铬铁岩带的下部。铂族金属的比值在单个铬铁岩带底板和顶板之间的变化表面上看来是不规则的。

在个别地区铬铁岩带之间铂含量和比值的 变化与沿单个带走向变化一样大。为了估计铬铁岩带中平均值纵向变化,将Pt、Pd

两个铬铁岩带中和各带个别部分的Pt、Pd和Rh分析值

表3

标 本 号	厚度 (英寸)	从 底 板 到 中 点 距离(英寸)	岩石类型	十亿分之几 (10 ⁻⁹)				比值×100		
				Pt	Pd	Rh	ΣPt+Pd+Rh	Pt	Pd	Rh
西 福 尔 克 区 A 铬 铁 岩 带 上 部										
14WF69E	1	7.0	铬铁矿堆积	150	840	64	1054	14.2	29.7	6.1
14WF69D	4	6.5	橄榄石—铬铁矿堆积	1100	4300	220	5620	19.6	76.5	3.9
14WF69C	9	4.5	铬铁矿堆积	2300	8200	640	11140	20.6	73.6	5.8
景 山 区 G 带 铬 铁 岩										
21MV69	60	198	橄榄石堆积	10	4	微量	14	71.4	28.6	微量
19MV69	36	138	铬铁岩	11	4	46	61	18	6.6	75.4
18MV69	120	60	铬铁岩	36	4	60	100	36	4	60
13MVNP67	12	—6	辉长石伟晶岩	10	4	5	19	52.6	21.1	26.3

外的其它矿物中。还认为样品中所有的钯显然是以一种矿物相包含在铬铁矿中。

铂、钯和铑的地球化学指示元素

化验大批铂族金属样品有明显的困难和费用昂贵, 矿相显微镜和电子探针鉴定的缓慢烦琐, 要求用简单的化学方法能追索铂族金属的其它元素。斯蒂尔沃特岩体中铬铁矿(或铬元素)是一种指示矿物, 但是正如铬铁矿层中Pt、Pd和Rh分布所见, 单它一个并不是唯一的很明确的标志。

用半定量光谱法对所有样品分析了54种元素。将下列元素与Pt、Pd和Rh含量作统计比较: Ag、B、Ba、Ca、Co、Cr、Cu、

Ga、K、Mn、Na、Ni、Pb、Sc、Sr、Ti、V、Yb和Zr。然而, 元素分布的直方图揭示许多次要元素含量是不正常的。还有, 检查频率分布中有些元素的含量是在测定灵敏度以下或最高在测定灵敏度以上。因为数据不能满足双变态正态分布的假设, 用斯皮曼非参数等级相关系数(γ_s)检验了元素之间的结合力。在计算斯皮曼等级相关系数(表5)中, 对连系观察(相等含量的变数)作了改正。 γ_s 值不应该取作整体众数相关系数的正确估计量, 但只是指未加整理的数据。采用标准的“学生氏” t 的检验来确定显著性的水准, 而且置信度大于95%有意义的相关系数(γ_s)才列于表5。

Pt、Pd和Rh对光谱分析元素的斯皮曼等级相关系数

表5

元素	Pt			Pd			Rh①		
	自由度	t	相关系数	自由度	t	相关系数	自由度	t	相关系数
钙	75	-5.416	-0.5303	95	-3.852	-0.3675	73	-3.887	-0.4141
钛	77	2.758	0.2998	98	2.689	0.2621	73	5.310	0.5279
锰	77	2.327	0.2563				73	2.118	0.2407
钡	77	-2.868	-0.3106	98	-2.096	-0.2072			
钴	77	5.911	0.5587	98	5.658	0.4962	73	4.242	0.4447
铬	72	7.228	0.6485	93	5.929	0.5237	68	6.050	0.5915
铜				97	2.462	0.2425	72	1.967	0.2258
镍	77	4.999	0.4950	98	6.529	0.5505	73	3.522	0.3811
铅							9	-3.626	-0.7705
钨	77	-4.097	-0.4230	98	-5.584	-0.4913	73	-1.871	-0.2139
铋	38	-1.990	-0.3072						
钼	77	7.127	0.6304	98	6.207	0.5312	73	6.339	0.5959
锆				16	-2.419	-0.5174			
钠	41	-1.730	-0.2608	63	-2.035	-0.2483			
钾				11	-1.866	-0.4904			
铷	64	3.205	0.3719	81	3.038	0.3199	59	3.723	0.4362
铈				34	2.061	0.3332	18	2.406	0.4933
铂②				80	10.660	0.7661	69	11.998	0.8220
钯②	80	10.660	0.7661				72	5.906	0.5713
铑②	69	11.988	0.8220	72	5.906	0.5713			

① 对于自由度值60t大于1.67、2.00、2.30、2.66和2.91的值分别与显著性等级大于95、97.5、98.75、99.5和99.75%的值对应。

② 为求相关系数采用了火试金光谱定量分析的结果。

假如我们采用置信度限大于99.5, 斯皮曼相关系数大于0.5000作为截止限, 那么只有三个铂金属本身和铬、钒、镍、钴和钛之间的相关关系有可能为斯蒂尔沃特岩体提供寻找铂族金属的地球化学指示元素。对于铂, 与铑最密切相关, 按由强至弱的顺序依次为Pd、Cr、V和Co; 钯与铂相似, 由最强至最弱依次为Pt、Rh、Ni、V和Cr。对于铑, 与Pt、Pd、V和Ti结合紧密。砷是样品中没分析的一个元素, 可能是一个重要的示踪元素。

除了铬, 钒最可能成为地球化学指示元素外, 选取了16个概括Pt、Pd、Rh和V值范围的样品。用×射线荧光粉末稀释法对钒作了定量分析。V对 $\Sigma(Pt + Pd + Rh)$ 、Pt、Pd和Rh的统计上有意义的积矩相关系数分别是+0.77、+0.61、+0.85和+0.64。 $\Sigma(Pt + Pd + Rh)$ 的回归分析得出一条直线, 具有如下的方程式:

$$\Sigma(Pt + Pd + Rh)_{ppb} = 16.08 (V_{ppm}) + 0.323$$

$\Sigma(Pt + Pd + Rh)$ 对V的标准误差估计为3.55。 $\Sigma(Pt + Pd + Rh)$ 与V之间的关系虽然很粗糙, 但在斯蒂尔沃特岩体中为寻找铂族金属可能提供一种找矿的手段或样品筛选的工具。

铂族金属与铬铁矿组成的关系

杰克逊很详细地研究了橄榄岩段中铬铁矿的组成和产状, 同时指出铬铁矿和橄榄石之间阳离子分布比值可以合理地估计结晶温度。欧文表示铬铁矿组成判明岩石的成因, 特别是氧逸度是有益的。所以确立铂金属和铬铁矿组分之间的关系可以对铂族金属富集得到有价值的资料。

杰克逊比较了全铁和含Pt、Pd和Rh总量的氧化比值, 以及金属比值的等化学线, 指出铂金属和铬铁矿中铁的行为之间存在着一种关系。这个假说的部分证据是统计上有意义的积矩相关系数, 即铬铁矿中氧化比值($Fe^{+3}/Fe^{+2} + Fe^{+3}$)以及铬铁岩带中可资

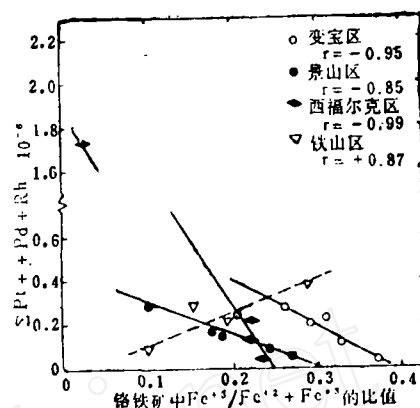


图4 一个一个地区的 $\Sigma(Pt + Pd + Rh)$ 与铬铁矿氧化比值的关系图。直线是根据素描绘出的。

用的35个点之间的Pt + Pd + Rh总和是-0.53。全铁和三个铂金属或它们之和之间的相关关系十分低或者说的不显著。

对于有足够数据的地区逐一地对氧化比值和铂族金属的相关关系作了研究, 给出了水准十分高的显著的相关关系(图4)。在变宝、景山和西福尔克区的研究结果, 表明随铬铁矿中氧化比值的减少, 三个铂族金属的总和增加。而在铁山区由于有些不能解释的原因则出现反比关系。斯蒂尔沃特岩体中三个铂族金属的高含量看来是与铬铁矿中 Fe_2O_3 最低的区域有关。

铂、钯和铑比值随岩浆分异作用的变化

海斯讨论了玄武质岩浆中主要元素的最终分馏分异, 玄武质岩浆形成整个斯蒂尔沃特岩体上部 and 夹层带的玄武带。假如各带和各段所有Pt、Pd和Rh的分析平均值被认为是代表岩浆分异的铂族金属含量, 那末就可以讨论铂族金属分级的相对趋向。图5是底部带、橄榄岩段和古铜辉岩段、夹层带和上部带Pt、Pd和Rh的平均比值图。在结晶的早期阶段岩体富含钯, 而不是铂和铑。在结晶的晚期阶段铑增加, 但铂含量增加得更多。这种趋向与肖德伯里和布什维尔的梅伦斯基矿脉的资料有显著的差异, 但这两个产状的资料仅是根据地层带中资料取得的。

结 论

Pt、Pd和Rh最集中的地方一般与铬铁矿中低氧化比值有关。铬铁矿氧化比值和全铁值或许能反映出岩浆在铬铁矿结晶期间的状态。因为三种铂族金属与铬铁矿密切伴生，铬铁矿也指示出在什么情况下Pt、Pd和Rh聚集或富集。铬铁矿中全铁的变化可以反映岩浆组分的变化，氧化比值可以反映岩浆中氧的温度和部分压力的变化。假如这是确实的，那么Pt、Pd和Rh的富集局部是温度的函数，也是氧的分压力的函数，如同铬铁矿反映的一样。

梁国译自：《Econ.Geol.》1972, Vol.67, No.7, p.915

作者：N.J.佩奇等

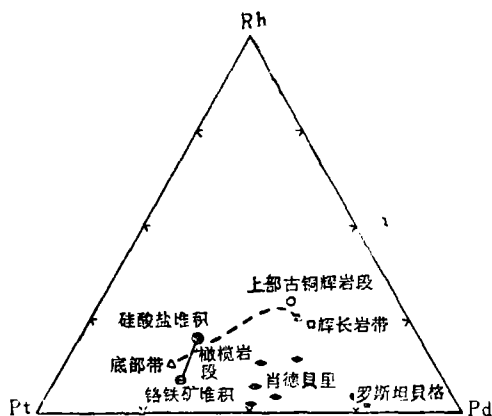


图5 斯蒂尔沃特岩体的 Pt、Pd和Rh 平均比值三角图

《国外铜矿床》征订启事

本书译载了近年发表的国外有关铜矿床方面的文章共20篇。这些文章着重介绍了国外铜矿床主要工业类型(含铜砂岩矿床、斑岩铜矿床和块状硫化矿床)的成矿理论、矿床地质、成矿规律、矿床成因以及普查找矿等方面的实际资料及研究成果。同时,对自然铜矿床和一些新类型矿床,也作了概略介绍。

本书可供从事铜矿普查找矿、矿床研究的广大地质工作者、科学研究人员和地质院校师生参考。

全书为大32开本,共226页,约18万字。每本定价0.8元(平邮邮资在内)。个人和单位均可订阅,单位统一办理订阅、汇款手续。

银行帐号: 中国人民银行桂林市东江办事处, 帐号78931,
务请注明“订阅《国外铜矿》”用款。

联系地址: 广西桂林一〇三邮政信箱《地质与勘探》编辑部